

# 2种蛋白水平的饲料循环投喂对奥尼罗非鱼幼鱼生长、体成分和血清生化指标的影响

刘伟, 文华, 蒋明, 吴凡, 田娟, 杨长庚

(中国水产科学研究院 长江水产研究所, 农业部淡水生物多样性保护与利用重点开放实验室, 湖北 武汉 430223)

**摘要:**利用2种蛋白水平分别为27.49% (以下简称a) 和20.55% (以下简称b) 的饲料循环投喂初始体质量为 $(3.10 \pm 0.05)$  g的奥尼罗非鱼, 研究投喂方式对其生长性能、饲料利用、体成分和血清生化指标的影响。共设置7种投喂方式:(1)连续投喂a(A组);(2)连续投喂b(B组);(3)1 d投喂a接着1 d投喂b(1A/1B组);(4)2 d投喂a接着2 d投喂b(2A/2B组);(5)2 d投喂a接着3 d投喂b(2A/3B组);(6)3 d投喂a接着2 d投喂b(3A/2B组);(7)3 d投喂a接着3 d投喂b(3A/3B组), 每种方式设3个平行试验组, 共进行60 d。结果发现:B组的生长表现最差;1A/1B, 2A/3B, 3A/2B组的特定生长率与A组差异不显著( $P > 0.05$ ), 但蛋白质效率、蛋白沉积率显著高于A组( $P < 0.05$ ), 养殖成本显著低于A组( $P < 0.05$ );A, 3A/2B, 3A/3B组的脏体比显著低于其他组( $P < 0.05$ );1A/1B组的成活率与A组差异不显著( $P > 0.05$ ), 而显著低于其他组( $P < 0.05$ )。A, 1A/1B, 2A/3B, 3A/2B组的全鱼水分含量显著低于B组( $P < 0.05$ )。A组的全鱼粗脂肪含量显著低于其他组( $P < 0.05$ )。除B组外, 各组全鱼粗蛋白含量与A组差异不显著( $P > 0.05$ )。循环投喂的方式对血清指标均有显著影响( $P < 0.05$ )。与A组相比, 血清中的谷草转氨酶和谷丙转氨酶活性降低, 白蛋白、球蛋白和总蛋白水平提高, 总胆固醇、高密度脂蛋白胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇含量增加。结果表明3A/2B组的投喂方式最佳。

**关键词:**循环投喂; 奥尼罗非鱼; 生长; 血清生化指标

中图分类号:S963

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2013)03-0405-06

## Effects of Mixed Feeding Schedules with Two Dietary Protein Levels on Growth Performance, Body Composition and Serum Biochemical Indexes of Junvenile Hybrid Tilapia (*Oreochromis niloticus* ♀ × *O. aureus* ♂)

LIU Wei, WEN Hua, JIANG Ming, WU Fan, TIAN Juan, YANG Changgeng

(Key Laboratory of Freshwater Biodiversity Conservation and Utilization, Ministry of Agriculture,  
Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China)

**Abstract:** The present experiment was conducted for 60 days to investigate the suitability of cyclical feeding with two dietaries on the growth performance, feed utilization, body composition and serum biochemical indexes of hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* ♀ × *O. aureus* ♂) with the initial body mass of  $(3.10 \pm 0.05)$  g. Seven different feeding regimes employed were: 27.49% protein diet (hereafter referred to as a) continuously (group A), 20.55% protein diet (hereafter referred to as b) continuously (group B), one day a followed by one day b (group 1A/1B), 2 day a followed by 2 day b (group 2A/2B), 2 days of a followed by 3 days of b (group 2A/3B), 3 days of a followed by 2 days of b (group 3A/2B) and 3 days of a followed by 3 days of b (group 3A/3B). Each feeding regime fed three replications. The re-

收稿日期:2012-10-09 网络出版时间:2013-06-13

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20130613.1422.016.html>

作者简介:刘伟(1982—),男,助理研究员,硕士;通信作者:文华(1965—),男,研究员,博士,E-mail: wenhua.hb@163.com

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项(CARS-49); 农业部公益性行业科研专项(201003020)

sults were as follows: group B had the worst growth performance. Compared to specific growth rates of 1A/1B, 2A/3B and 3A/2B were not significantly different from group A ( $P > 0.05$ ), but their protein efficiency ratios and protein retention rates were remarkably higher ( $P < 0.05$ ), and feeding costs were significantly lower ( $P < 0.05$ ). Viscerosomatic indexes of group A, group 3A/2B and group 3A/3B were significantly lower than those of the other groups ( $P < 0.05$ ). Survival rate of group 1A/1B was not significantly different from that of group A ( $P > 0.05$ ), but it was obviously lower than that of the other groups ( $P < 0.05$ ). Whole body moisture contents of group A, group 1A/1B, group 2A/3B and group 3A/2B were obviously lower than those of group B ( $P < 0.05$ ). Crude fat content of group A was obviously lower than that of the other groups ( $P < 0.05$ ). All the groups except group B had no significantly different crude protein contents compared with group A. Mixed feeding schedules had a significant influence on serum biochemical indices ( $P < 0.05$ ): compared with group A, the activities of aspartate amino-transferase and glutamic-pyruvic transaminase in the serum decreased, the levels of albumin, globulin and total protein rose, and the contents of total cholesterol, high density lipoprotein cholesterol and low density lipoprotein cholesterol increased. This experiment indicated that group 3A/2B was the best feeding regime.

**Key words:** mixed feeding schedule; *Oreochromis niloticus* ♀ × *O. aureus* ♂; growth performance; serum biochemical index

饲料中的蛋白质是影响鱼类生长和饲料成本的主要因素<sup>[1]</sup>. 在满足鱼类生长的同时,为降低饲料中的蛋白使用量,节约饲料成本,不仅需要考虑鱼类的营养需求,饲料的配方技术、加工工艺等因素,还需要利用科学合理的投喂技术. 在鲤鱼 *Cyprinus carpio*<sup>[2-3]</sup>, 苏氏芒鰐 *Pangasius hypophthalmus*<sup>[4-5]</sup>, 虹鳟 *Oncorhynchus mykiss*<sup>[6]</sup> 的养殖过程中,利用不同蛋白水平的饲料循环投喂的方式,可以有效地降低饲料蛋白的用量,节省养殖费用. Ali 等<sup>[4]</sup>认为这与鱼类对饲料的消化吸收存在一种表观的周期性变化 (Apparent cyclic pattern) 有关,如尼罗罗非鱼 *Oreochromis niloticus* 对饲料存在 1~2 d 高消化率接着 1 d 低消化率的周期变化<sup>[7]</sup>. 在对罗非鱼的研究中发现,采用投喂与饥饿循环的方式,罗非鱼的生长受阻<sup>[8-10]</sup>. 而采用合适的循环投喂高、低蛋白水平饲料的方式,罗非鱼的生长可以与持续投喂高蛋白水平饲料的表现类似,甚至更优,并使得饲料利用率增加,蛋白的用量减少,养殖成本降低<sup>[11-13]</sup>,但这些研究的对象主要为尼罗罗非鱼,且饲料中鱼粉的用量较高 (>10%),在实际生产中,因鱼粉的价格相对较高,罗非鱼饲料中主要使用植物蛋白. 饲料中使用适量的植物蛋白可以使鱼类处于相对较好的生理状态,使用过多会对罗非鱼的生长及饲料利用产生拮抗作用<sup>[14-15]</sup>,影响其健康状况<sup>[16]</sup>. 奥尼罗非鱼 *Oreochromis niloticus* ♂ × *O. aureus* ♀ 是以奥利亚罗非鱼 *Oreochromis aureus* 为父本与尼罗罗非鱼为母本进行

杂交,获得的杂交子一代. 它在雄性率、生长、产量、抗寒、起捕率等主要经济性状方面具有明显的杂种优势<sup>[17]</sup>,是我国罗非鱼的主养品系之一. 本试验以植物蛋白源为主配制了 2 种蛋白水平的饲料,采用循环投喂的方式,研究对奥尼罗非鱼幼鱼生长性能、饲料利用效率、体组成和血清指标的影响,旨在为奥尼罗非鱼养殖过程中的投喂技术提供参考.

## 1 材料与方法

### 1.1 试验鱼

奥尼罗非鱼幼鱼源自广东省罗非鱼原良种场. 试验用鱼运回后先暂养于养殖池中,药浴消毒,并用商品饲料驯养 2 周,使其适应试验条件. 挑选大小均匀的试验鱼,随机放至 21 个直径 1 m,高 0.5 m 的圆柱形玻璃钢桶内(有效体积为 300 L),每桶 30 尾. 试验开始时鱼的初始体质量( $3.10 \pm 0.05$ ) g.

### 1.2 试验饲料

以大豆粕、花生粕、菜粕、棉粕、鱼粉、次粉、米糠等为原料,配制 2 组蛋白水平分别为 27.49% (以下简称 a) 和 20.55% (以下简称 b) 的饲料,配方见表 1. 将各种原料粉碎,过 60 目筛,称质量后充分混匀,利用小型绞肉机制成直径为 2 mm 的成品饲料,自然风干,破碎后,置于 -20 ℃ 冰箱中储藏备用.

### 1.3 试验设计和饲养管理

试验共设 7 种投喂方式:(1)连续投喂 a(A 组);(2)连续投喂 b(B 组);(3)1 d 投喂 a 接着 1 d

投喂 b(1A/1B 组);(4)2 d 投喂 a 接着 2 d 投喂 b(2A/2B 组);(5)2 d 投喂 a 接着 3 d 投喂 b(2A/3B 组);(6)3 d 投喂 a 接着 2 d 投喂 b(3A/2B 组);(7)3 d 投喂 a 接着 3 d 投喂 b(3A/3B 组). 每种投喂方式设 3 个平行试验组. 试验持续 60 d. 日投喂量为体质量的 5%~6%, 每天于 8:00、12:00 和 17:00 投喂 3 次. 每 2 周称鱼体质量 1 次, 以调整投喂量. 水源为沉淀过滤后的湖水, 水量保持在  $1\sim2 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ , 增氧泵连续充气增氧. 试验期间水温为  $(28.6 \pm 0.7)^\circ\text{C}$ , pH 值为  $7.3 \pm 0.3$ , 溶解氧为  $(6.20 \pm 0.60) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 氨氮为  $(0.060 \pm 0.007) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ .

表 1 饲料配方及营养组成

Tab. 1 Formulation and nutrient composition of the diets

饲料原料及比例/%							
组别	豆粕	秘鲁 鱼粉	菜粕	棉粕	花生粕	次粉	米糠
a	15.00	6.00	20.00	10.00	8.00	24.70	7.00
b	8.00	3.00	10.00	5.00	4.00	51.70	9.00
饲料原料及比例/%							
组别	膨润土	豆油	维生素 预混料	矿物盐 预混料	丙酸钠	氯化 胆碱	成本/ $\text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$
a	2.00	3.00	1.00	3.00	0.10	0.20	3.21
b	2.00	3.00	1.00	3.00	0.10	0.20	2.76
营养成分及比例/%							
组别	干物质	粗蛋白	粗脂肪	粗灰分	粗纤维	无氮浸 出物 <sup>1)</sup>	总能 <sup>1)</sup> / $(\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1})$
a	91.12	27.49	7.73	8.78	12.81	34.31	15.58
b	92.68	20.55	6.22	7.34	8.50	50.07	16.11

1) 为计算值, 其余营养成分为实测值.

#### 1.4 样品制备、分析和指标计算

试验结束后, 禁食 24 h, 麻醉 (MS-222, 150  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 后, 对每桶试验鱼进行记数和称体质量. 每桶随机取鱼 6 尾, 于尾静脉取血, 4 °C 冰箱内静置 2 h, 以 3 000  $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$  离心 15 min, 得到空腹血清, 保存于 -20 °C 冰箱中; 每桶随机取鱼 3 尾, 测量体长和体质量, 取肝脏、内脏称质量; 每桶随机取鱼 3 尾, 保存于 -20 °C 冰箱中, 用于测定营养成分.

采用直接干燥法测定水分含量 (GB/T 5009.3—2003), 凯氏定氮法测定粗蛋白质含量 (GB/T 5009.5—2003), 索氏抽提法测定粗脂肪含量 (GB/T 5009.6—2003), 灼烧称重法测定灰分含量 (GB/T 5009.4—2003), 过滤法测定粗纤维含量 (GB/T 6434—2006). 使用日本希森美康 (CHEMIX-800) 全自动生化分析仪测定血清指标. 其余各指标的计算公式如下:

$$\text{特定生长率} = (\ln m_1 - \ln m_0) / t \times 100\%,$$

$$\text{饲料效率} = (m_f - m_i) / (m_A + m_B),$$

$$\text{蛋白质效率} = [(m_f - m_i) / (m_A \times w_{PA} + m_B \times w_{PB})] \times 100\%,$$

$$\text{蛋白质沉积率} = [(m_f \times w_{PF} - m_i \times w_{Pi}) / (m_A \times w_{PA} + m_B \times w_{PB})] \times 100\%,$$

$$\text{成活率} = (N_f / N_i) \times 100\%,$$

$$\text{肝体比} = (m_H / m) \times 100\%,$$

$$\text{脏体比} = (m_V / m) \times 100\%,$$

$$\text{养殖成本} = (m_A \times C_A + m_B \times C_B) \times 1000 / (m_f - m_i).$$

其中,  $t$  为试验时间 (d),  $m_0$  和  $m_1$  分别为试验鱼的初、末均体质量 (g),  $m_i$  和  $m_f$  分别为试验鱼的初、末总体质量 (g),  $m_A$  和  $m_B$  分别为投喂饲料 a、饲料 b 总质量 (g),  $w_{PA}$ 、 $w_{PB}$ 、 $w_{PF}$  和  $w_{Pi}$  分别为饲料 a、饲料 b、初始、终末鱼体的粗蛋白质量分数 (%),  $N_i$  和  $N_f$  分别为试验结束后和开始时鱼的尾数;  $m_H$ 、 $m_V$  和  $m$  分别为肝胰脏、内脏质量和体质量 (g),  $C_A$  和  $C_B$  为饲料 a 和 b 的成本 ( $\text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$ ).

#### 1.5 统计方法

试验结果用平均数 ± 标准差表示, 经 One-way ANOVA 方差分析, Duncan's 多重比较法分析试验结果的差异显著性. 所有统计分析均采用 STATISTICA 6.0 软件.

## 2 结果

### 2.1 生长性能和饲料利用

循环投喂对奥尼罗非鱼幼鱼生长性能和饲料利用的影响见表 2. 其中, B 组的末均体质量和特定生长率显著低于其他组 ( $P < 0.05$ ); 1A/1B、2A/3B、3A/2B 组的末均体质量和特定生长率与 A 组差异不显著 ( $P > 0.05$ ). 其他各组较 A 组饲料效率无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 除 2A/2B 组外, 各组的蛋白质效率均高于 A 组 ( $P < 0.05$ ); 除 2A/2B、3A/3B 组外, 各组的蛋白质沉积率均高于 A 组 ( $P < 0.05$ ). 2A/2B 组的肝体比与 1A/1B 组差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 但显著高于其他组 ( $P < 0.05$ ); A、3A/2B 和 3A/3B 组的脏体比显著低于其他组 ( $P < 0.05$ ). 除 1A/1B 外, 各组间成活率差异不显著 ( $P > 0.05$ ). 1A/1B、2A/3B、3A/2B 和 3A/3B 组的养殖成本显著低于 A 组 ( $P < 0.05$ ).

### 2.2 全鱼成分

各组全鱼的营养成分见表 3. A 组全鱼的水分与 2A/2B、3A/3B 的差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 显著高于其他组 ( $P < 0.05$ ). B 组全鱼的粗蛋白含量最低, 显著低于 A、2A/2B 和 3A/2B 组 ( $P > 0.05$ ). B 组的粗脂肪含量最高, 各组均显著高于 A 组 ( $P < 0.05$ ). 各组间全鱼的粗灰分含量无显著差异 ( $P > 0.05$ ).

表2 循环投喂对奥尼罗非鱼幼鱼生长性能和饲料利用的影响<sup>1)</sup>

Tab. 2 Effects of mixed feeding schedules on growth performances and feed utilization of juvenile hybrid tilapia

组别	初均体质量/g	末均体质量/g	特定生长率 <sup>2)/%</sup>	饲料效率	蛋白质效率/%	蛋白沉积率/%	肝体比/%	脏体比/%	成活率/%	养殖成本/(元·kg <sup>-1</sup> )
A	3.12±0.06a	21.14±0.59cd	3.42±0.02c	0.43±0.03ab	142.46±10.50a	23.40±2.15a	2.28±0.23a	12.02±0.74a	94.44±5.09ab	7.43±0.54b
B	3.08±0.13a	16.72±1.28a	3.05±0.14a	0.40±0.03a	178.48±10.93b	28.67±2.04b	2.22±0.32a	13.82±0.54b	98.89±1.92b	7.06±0.43ab
1A/1B	3.12±0.12a	21.93±0.46c	3.47±0.05c	0.44±0.02ab	166.22±5.44bc	26.63±0.80bcd	2.57±0.39bc	13.56±1.02b	90.00±6.67a	6.83±0.21ac
2A/2B	3.10±0.06a	19.78±0.28b	3.31±0.03b	0.40±0.02a	155.90±6.16ac	24.39±1.25ac	2.67±0.31b	13.14±0.86b	97.78±1.92b	7.23±0.38bc
2A/3B	3.17±0.07a	21.55±0.39c	3.42±0.03bc	0.44±0.02ab	169.91±7.43b	27.78±0.92bd	2.32±0.25ac	13.55±0.87b	98.89±1.92b	6.62±0.24ac
3A/2B	3.01±0.03a	20.09±0.77bd	3.39±0.05bc	0.46±0.01b	171.67±2.83b	28.52±1.19b	2.22±0.28a	11.65±0.74a	98.89±1.92b	6.58±0.10a
3A/3B	3.08±0.10a	19.68±0.21b	3.34±0.02bc	0.45±0.02b	166.96±7.31bc	25.73±0.48ad	2.37±0.17ac	12.08±1.12a	97.78±3.85b	6.57±0.13a

1) 表中数据为平均值±标准差,同列数据后凡有一个相同小写字母者,表示差异不显著( $P > 0.05$ ,Duncan's法);2)指饲养期内每天的特定生长率.

表3 循环投喂对奥尼罗非鱼幼鱼全鱼成分的影响<sup>1)</sup>

Tab. 3 Effects of mixed feeding schedules on whole body composition of juvenile hybrid tilapia %

组别	w(水分)	w(粗蛋白)	w(粗脂肪)	w(粗灰分)
A	70.14±0.07b	15.92±0.44b	9.22±0.36a	3.54±0.04a
B	67.62±0.75a	15.14±0.23a	12.47±0.58c	3.63±0.30a
1A/1B	68.40±0.57a	15.64±0.15ab	11.06±0.43b	3.43±0.07a
2A/2B	68.73±0.26ab	15.90±0.08b	10.87±0.45b	3.62±0.16a
2A/3B	67.95±1.41a	15.84±0.23ab	11.72±1.34bc	3.49±0.18a
3A/2B	68.03±0.91a	16.18±0.38b	11.41±0.76bc	3.52±0.16a
3A/3B	69.08±0.96ab	15.73±0.76ab	10.79±0.89b	3.38±0.11a

1) 表中数据为平均值±标准差,同列数据后凡有一个相同小写字母者,表示差异不显著( $P > 0.05$ ,Duncan's法).

## 2.3 血清指标

由表4可见,与A组相比,循环投喂组的血清谷草转氨酶(AST)和谷丙转氨酶(ALT)活性降低,白蛋

白、球蛋白和总蛋白水平升高,总胆固醇、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)和低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)含量增加.其中,A组的AST活性与3A/3B组差异不显著( $P > 0.05$ ),但显著高于其他组( $P < 0.05$ );3A/2B、3A/3B和1A/1B组的ALT活性显著低于A组( $P < 0.05$ );3A/2B、3A/3B组的白蛋白、球蛋白、总蛋白与A组差异不显著( $P > 0.05$ ),而1A/1B、2A/2B和2A/3B组显著高于A、B组( $P < 0.05$ ).B、2A/3B和3A/2B组的胆固醇含量显著高于A组( $P < 0.05$ );A和3A/3B组的HDL-C含量显著低于其他组( $P < 0.05$ ),而B、1A/1B和2A/2B组的HDL-C显著低于2A/3B、3A/2B组( $P < 0.05$ );1A/1B和2A/3B组的LDL-C含量显著高于A、B和3A/3B组( $P < 0.05$ ),1A/1B、2A/2B的三酰甘油含量显著高于其他组( $P < 0.05$ ).

表4 循环投喂对奥尼罗非鱼幼鱼血清生化指标的影响<sup>1)</sup>

Tab. 4 Effects of mixed feeding schedules on serum biochemical indexes of juvenile hybrid tilapia

组别	酶活性/(U·L <sup>-1</sup> )		c/(g·L <sup>-1</sup> )			c/(mmol·L <sup>-1</sup> )			
	谷草转氨酶	谷丙转氨酶	白蛋白	球蛋白	总蛋白	总胆固醇	高密度脂蛋白胆固醇	低密度脂蛋白胆固醇	三酰甘油
A	458.67±94.65c	38.33±5.13d	10.00±0.00a	21.33±1.53ab	31.33±1.53ab	4.00±0.32a	1.80±0.22a	0.68±0.11a	2.12±0.09ab
B	347.67±20.21ab	36.00±1.73d	10.33±0.58a	20.67±0.58a	31.00±1.00a	4.69±0.18bcd	2.03±0.15b	1.04±0.09b	2.30±0.29b
1A/1B	276.33±20.03a	27.00±1.00bc	11.33±0.58bc	25.00±0.00c	36.33±0.58cd	4.66±0.25abcd	2.04±0.09b	1.47±0.20d	2.72±0.21c
2A/2B	319.33±33.20a	33.00±5.57d	11.33±0.58bc	24.00±1.00c	35.33±1.53cd	4.36±0.04abc	2.02±0.07b	1.10±0.10bc	2.77±0.18c
2A/3B	331.67±12.05ab	32.33±1.53cd	12.00±0.00c	25.00±1.00c	37.00±1.00d	5.25±0.25d	2.40±0.09c	1.36±0.18cd	2.36±0.11b
3A/2B	266.67±7.09a	13.33±0.58a	10.67±0.58ab	23.33±2.08bc	34.00±2.00bc	4.98±0.76cd	2.32±0.05c	1.10±0.28bc	1.76±0.29a
3A/3B	401.67±38.99bc	22.33±2.89b	10.67±0.58ab	23.33±1.53bc	34.00±2.00bc	4.06±0.17ab	1.98±0.04a	0.90±0.03ab	2.00±0.12ab

1) 表中数据为平均值±标准差,同列数据后凡有一个相同小写字母者,表示差异不显著( $P > 0.05$ ,Duncan's法).

## 3 讨论与结论

### 3.1 循环投喂对奥尼罗非鱼幼鱼生长性能和饲料利用的影响

研究表明,奥尼罗非鱼幼鱼对饲料蛋白质的需

要量为24%~32%<sup>[18-20]</sup>.因此,a饲料的粗蛋白含量(27.49%)是适合奥尼罗非鱼生长的.本试验的结果发现,1A/1B、2A/3B和3A/2B组的特定生长率与A组无显著差别,蛋白质效率、蛋白沉积率显著提高,养殖成本显著降低,表明不同蛋白水平饲料循环

投喂的方式对于减少奥尼罗非鱼养殖过程中的蛋白使用量,降低养殖成本是有效的。但也发现,1A/1B组的成活率较低,这可能是频繁更换饲料引起了罗非鱼的应激反应,导致免疫力降低<sup>[21]</sup>,造成死亡率偏高;2A/3B组鱼的脏体比显著高于A组,表明此种投喂方式使营养物质在内脏中过多地积累,同时内脏比例的升高,也会造成可食部分的减少。而3A/2B组鱼的以上指标均表现出相对良好的结果,说明3A/2B组的投喂方式在本试验中是最佳的。

Silva 等<sup>[11]</sup>研究指出,投喂粗蛋白质量分数为30%的饲料2 d,随后投喂粗蛋白质量分数为18%的饲料3 d(2 d 30%/3 d 18%),尼罗罗非鱼(190~595 mg 和 1.043~4.068 g)获得的生长性能和饲料利用效率最佳;在半精养池塘的试验中,也发现采用2 d 33%/3 d 22%的方式投喂尼罗罗非鱼(33~153 g),其生长表现最佳<sup>[13]</sup>。而 Santiago 等<sup>[12]</sup>发现以粗蛋白质量分数为25%和18%的饲料循环投喂尼罗罗非鱼,仅影响到雌性(20~233 g)的生长,对雄性(20~266 g)则无显著影响,若以饲料利用效率来评价,则3 d 25%/2 d 18%和1 d 25%/1 d 18%的投喂方式较好,对于莫尼罗非鱼(17~250 g)的研究则认为3 d 35%/3 d 25%的投喂方式最优<sup>[22]</sup>。在对鲤鱼的研究中发现,1 d 30%/1 d 20%和3 d 30%/3 d 20%的投喂方式与持续投喂粗蛋白质量分数为30%的饲料相比,生长表现类似<sup>[3]</sup>,而 Nandeesha 等<sup>[2]</sup>利用2 d 30.9%/2 d 25.8%的投喂方式,得出鲤鱼的生长性能和饲料利用效率要优于持续投喂30.9%的。造成这些差异的原因可能与饲料配方、饲养条件、鱼的种类及生长阶段等因素不同有关。

### 3.2 循环投喂对奥尼罗非鱼幼鱼的体成分和血清指标的影响

在本试验中,B组全鱼的粗蛋白含量最低,这可能与低蛋白饲料不利于罗非鱼合成体蛋白<sup>[23]</sup>有关;其余各组全鱼粗蛋白含量无显著差异,表明循环投喂没有影响到鱼体蛋白合成。鱼类可以利用饲料中的脂肪、碳水化合物和蛋白合成脂肪<sup>[24]</sup>,在本试验中各组投喂饲料的脂肪和蛋白含量均低于A组,而碳水化合物含量均高于A组,结果发现全鱼粗脂肪含量均显著高于A组,这与对尼罗罗非鱼<sup>[11]</sup>和奥尼罗非鱼<sup>[25]</sup>的研究结果类似,说明鱼体粗脂肪的增加可能主要是由饲料碳水化合物水平升高引起的。

肝脏是鱼类的重要器官。一般认为,血清中转氨酶的活性很低,其活性的升高是肝脏受损的表现<sup>[26~27]</sup>,但本试验中发现循环投喂组中鱼的血清转

氨酶活性相对于A组均有不同程度的降低,表明鱼的肝脏是正常的,而血清白蛋白、球蛋白和总蛋白的升高,表明奥尼罗非鱼加强了蛋白质的合成与运转,从而在血清蛋白中出现了较多的蛋白质组分<sup>[28]</sup>。血脂包括三酰甘油和胆固醇,它们的来源有外源性的,即从饲料中摄取并经过消化道进入血液中;还有内源性的,即由肝脏、脂肪组织和其他组织合成而来<sup>[29]</sup>。鱼类可以利用碳水化合物合成脂肪<sup>[30]</sup>,且三酰甘油和胆固醇的主要合成部位为肝脏<sup>[31~32]</sup>,并经血液转运至全身各处<sup>[30]</sup>。本试验的结果发现,循环投喂组的血脂水平较高,也间接地表明鱼类利用碳水化合物合成脂类的能力增强。

在本试验条件下,采用3A/2B组的投喂方式,并未影响奥尼罗非鱼幼鱼肝脏的正常生理机能,同时对碳水化合物的利用能力增强,可以取得最佳的生长性能、最优的饲料利用效率和最低的饲料成本。

### 参考文献:

- [1] AI Qinghui, MAI Kangsen, LI Huitao, et al. Effects of dietary protein to energy ratios on growth and body composition of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus* [J]. Aquaculture, 2004, 230(1): 507-516.
- [2] NANDEESHA M C, GANGADHARA B, MANISSERY J K. Further studies on the use of mixed feeding schedules with plant-and animal-based diets for common carp *Cyprinus carpio* (Linnaeus) [J]. Aquac Res, 2002, 33(14): 1157-1162.
- [3] SARDAR P, SINHA A, DATTA S. Effect of mixed feeding schedules with varying dietary protein levels on the growth performances of common carp (*Cyprinus carpio* Linn.) [J]. Indian J Anim Sci, 2011, 81(5): 537-542.
- [4] ALI M Z, HOSSAIN M A, ABDUL M M. Effect of mixed feeding schedules with varying dietary protein levels on the growth of sutchi catfish, *Pangasius hypophthalmus* (Sauvage) with silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix* (Valenciennes) in ponds [J]. Aquac Res, 2005, 36(7): 627-634.
- [5] HOSSAIN M A, ALI M Z, ABDUL M M, et al. Evaluation of mixed-feeding schedules with varying dietary protein content on the growth performance and reduction of cost of production for sutchi catfish, *Pangasius hypophthalmus* (Sauvage) with silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix* (Valenciennes) [J]. J Appl Aquac, 2006, 18(1): 63-78.
- [6] SEVGILI H, EMRE Y, KANYILMAZ M, et al. Effects of mixed feeding schedules on growth performance, body

- composition, and nitrogen-and phosphorus balance in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. *Acta Ichthyol Piscat*, 2006, 36(1): 49-55.
- [7] DE SILVA S S, PERERA M K. Digestibility in *Sarotherodon niloticus* fry: Effect of dietary protein level and salinity with further observations on variability in daily digestibility [J]. *Aquaculture*, 1984, 38(4): 293-306.
- [8] WANG Yan, LI Cui, QIN J G, et al. Cyclical feed deprivation and refeeding fails to enhance compensatory growth in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. [J]. *Aquac Res*, 2009, 40(2): 204-210.
- [9] CHRISTENSEN S M, MCLEAN E. Compensatory growth in Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*), fed a sub-optimal diet [J]. *Croat J Fisheries*, 1998, 56(1): 3-19.
- [10] 李程琼, 冯健, 刘永坚, 等. 奥尼罗非鱼多重周期饥饿后的补偿生长 [J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2005, 44(4): 99-102.
- [11] DE SILVA S S. Performance of *Oreochromis niloticus* (L.) fry maintained on mixed feeding schedules of differing protein content [J]. *Aquac Res*, 1985, 16(4): 331-340.
- [12] SANTIAGO C B, LARON M A. Growth and fry production of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), on different feeding schedules [J]. *Aquac Res*, 2002, 33(2): 129-136.
- [13] PATEL A B, AMARARATNE Y. Mixed feeding schedules in semi-intensive pond culture of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, L.: Is it necessary to have two diets of differing protein contents? [J]. *Aquac Res*, 2003, 34(14): 1343-1352.
- [14] 刘勇, 冷向军, 李小勤, 等. 豆粕替代鱼粉对奥尼罗非鱼生长, 表观消化率及血清非特异性免疫的影响 [J]. 中国粮油学报, 2009, 24(12): 95-100.
- [15] EL-SAIDY D M S D, GABER M M A. Replacement of fish meal with a mixture of different plant protein sources in juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) diets [J]. *Aquac Res*, 2003, 34(13): 1119-1127.
- [16] 艾庆辉, 谢小军. 水生动物对植物蛋白源利用的研究进展 [J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2005, 35(6): 929-935.
- [17] 王楚松, 夏德全, 胡玫, 等. 奥尼鱼 (*Oreochromis niloticus* ♀ × *O. aureus* ♂) 杂种优势利用的研究 [J]. 淡水渔业, 1989(6): 14-15.
- [18] TWIBELL R G, BROWN P B. Optimal dietary protein concentration for hybrid tilapia *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* fed all-plant diets [J]. *J World Aquacult Soc*, 1998, 29(1): 9-16.
- [19] SHIAU S Y, HUANG S L. Optimal dietary protein level for hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) reared in seawater [J]. *Aquaculture*, 1989, 81(2): 119-127.
- [20] LUQUET P. Practical considerations on the protein nutrition and feeding of tilapia [J]. *Aquat Living Resour*, 1989, 2: 99-101.
- [21] ENDO M, KUMAHARA C, YOSHIDA T, et al. Reduced stress and increased immune responses in Nile tilapia kept under self-feeding conditions [J]. *Fisheries Sci*, 2002, 68(2): 253-257.
- [22] FATAN N A, HASHIMA R, CHONG A S C, et al. Enhancement of monosex hybrid red tilapia, *Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus* production in portable canvas tanks through mixed-feeding strategies [J]. *J Appl Aquac*, 2005, 17(4): 99-111.
- [23] BAHNASAWEY M H. Effect of dietary protein levels on growth performance and body composition of monosex nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. reared in fertilized tanks [J]. *Pakistan J Nutr*, 2009, 8(5): 674-678.
- [24] 梁洪, 钱云霞. 食物对养殖鱼类脂肪代谢的影响 [J]. 水产科学, 2007, 26(9): 521-524.
- [25] 吴凡, 文华, 蒋明, 等. 饲料碳水化合物水平对奥尼罗非鱼幼鱼生长, 体成分和血清生化指标的影响 [J]. 华南农业大学学报, 2011, 32(4): 91-95.
- [26] OLUAH N S. Plasma aspartate aminotransferase activity in the catfish *Clarias albopunctatus* exposed to sublethal zinc and mercury [J]. *B Environ Contam Tox*, 1999, 63(3): 343-349.
- [27] CHIEN Yewhu, PAN Chihhu, HUNTER B. The resistance to physical stresses by *Penaeus monodon* juveniles fed diets supplemented with astaxanthin [J]. *Aquaculture*, 2003, 216(1/4): 177-191.
- [28] RAO V Y, DAS B K, JYOTYRMAYEE P, et al. Effect of *Achyranthes aspera* on the immunity and survival of *Labeo rohita* infected with *Aeromonas hydrophila* [J]. *Fish Shellfish Immun*, 2006, 20(3): 263-273.
- [29] 周顺武. 动物生物化学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 117-146.
- [30] SHERIDAN M A. Lipid dynamics in fish: Aspects of absorption, transportation, deposition and mobilization [J]. *Comp Biochem Phys*: B, 1988, 90(4): 679-690.
- [31] GREENE D H, SELIVONCHICK D P. Lipid metabolism in fish [J]. *Prog Lipid Res*, 1987, 26(1): 53-85.
- [32] 王镜岩, 朱圣庚, 徐长法. 生物化学: 下册 [M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2002: 257-298.